



舰 | 船 | 现 | 代 | 化

潜艇光电装备技术

张坤石 主编



HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

013039200

U674.76
06-2



舰船现代化

潜艇光电装备技术

主编 张坤石
参编 李 忠 彭旭煌 张秉铎 段 滔
 骆顺奇 王振华 刘爱东 何大华
 耿安兵 刘 娟
主审 陈福胜



哈尔滨工程大学出版社



北航

C1647786

U674.76

06-2

内 容 简 介

潜艇光电装备是海军光电系统的主要组成部分之一。本书以潜艇潜望镜为主线,从研究设计的角度,介绍了潜艇光电装备的类别、用途、工作原理,并较为详细地介绍了与此相关联的一些应用基础理论与技术:论证基础知识与作用效能评价、安装和动态环境条件的影响、结构总体技术、光学设计技术、系统与信息化技术、测距技术、红外热像技术、动态基座上光电设备的图像稳定原理;本书还从总体的角度专门介绍了国内外正在大力发展的光电桅杆与光电浮标技术、虚拟潜望镜与水下光电成像探测技术、潜用与舰用天文导航定位定向的原理、光电导航的概念与原理及相关技术。

本书是为相关专业研究生的授课所编写的教材,可作为有关院校军用光电与天文导航专业高年级学生、研究生的教学参考书,亦可作为有关研究人员及工作人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

潜艇光电装备技术/张坤石主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2012.12

ISBN 978-7-5661-0501-1

I. ①潜… II. ①张… III. ①潜艇-光电仪器
IV. ①U674.76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 297192 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 47
字 数 1 100 千字
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
定 价 240.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

随着现代信息技术的飞跃发展和军事信息化建设的加速,潜艇光电装备技术发展迅猛。以光电桅杆和光电潜望镜为代表的潜艇光电装备已发展成为大型复杂的光机电一体化军用信息装备,在国外,已成为潜艇信息网络的重要节点和倚重设备,受到前所未有的重视。现代光电潜望镜和光电桅杆广泛配置了凝视型红外热像仪、高清晰度黑白和彩色电视、对人眼安全的激光测距仪、数码相机等新型光电传感器,大大增强了其对目标的探测识别功能;为保证精确测量及光电图像的质量,广泛配置了高精度瞄准线或图像稳定系统;为了适应日益增强的潜艇与反潜战的需要,国外已大力研究虚拟潜望镜技术、光电浮标技术、水下无人潜器和潜射无人机技术、水下微光电视技术和水下激光成像技术等;为了适应未来复杂电磁环境下安全可靠航行的需要,国外正在大力发展基于多星矢量定位技术的现代光电导航技术,可以不用任何先验信息而自主确定运载体相对惯性空间的姿态;为了适应大潜深、复杂断面桅杆和水中壳体的力学设计需要,已广泛地采用有限元理论来解决潜艇光电设备的力学课题;为适应潜艇信息网络建设的需要,发展了将各光电传感器和其他波段传感器集成的潜艇综合成像系统。

本书系统全面地反映现代潜艇光电装备技术进展的要求,进行了大量新技术内容的编写。其中包括光电桅杆技术、光电潜望镜技术、凝视热成像光学系统的设计及应用技术、激光测距应用技术、虚拟潜望镜技术、水下激光成像技术、光电导航技术、光电装备的系统化技术、在潜艇光电装备的力学领域应用的有限元技术以及属于总体技术的效能分析与评价,系统整理了瞄准线与图像稳定的数学原理,增添了捷联式稳定原理的数学分析和电子图像稳定知识等。

本书的1,3,6,8章由张坤石研究员编写,此外还提供了7.7节、9.5节、10.7节、11.4节等编写内容。第2章由刘娟高级工程师编写。第4章由耿安兵研究员编写。第5章由彭旭煌研究员和骆顺奇研究员(5.8节)编写,彭旭煌研究员还提供了8.9节编写内容。第7章由段滔研究员编写,并审校了第3章。第9章由李忠研究员编写。第10章由何大华博士编写。第11章由王振华研究员和季必达研究员(11.1节)编写。

在本书的审校过程中,鲍晓静研究员审校了全部书稿,并提出了增添“效能分析与评价”内容的意见。陆炳哲研究员审校了第1,3,6,7,9,10章内容,提出了非常宝贵的修改意见,并提供了进行编写的大量国外发展资料及图片。海军驻中南地区光电系统军代室许中胜研究员审校了第1,6章,并提供了第6章部分编写稿。张建民高工、廖佳锋工程师审校了第8章。

本书的编写出版工作,得到了华中光电技术研究所领导和哈尔滨工程大学出版社领导和编辑的指导和大力支持,并得到华中光电技术研究所很多同志的帮助,黄晓君高工为本书进行了大量的组织协调工作,在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012年1月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 潜艇光电装备的概念和类别	1
1.2 潜艇光电与天文导航装备的发展概况	3
1.3 潜艇光电与天文导航技术的特点、作用与发展趋势	10
1.4 潜艇光电装备战技指标论证的基础知识与思路	16
1.5 潜艇光电装备效能分析与评估	33
参考文献	53
第2章 潜艇光电装备安装、使用环境条件与总体设计技术	55
2.1 概述	55
2.2 潜艇潜望镜安装条件与总体设计技术	56
2.3 潜艇潜望镜流体动力学理论与强度和安全性设计	58
2.4 潜望镜弹性变形计算方法	64
2.5 潜艇潜望镜的模型与实艇试验	83
2.6 潜艇潜望镜振动与弯曲变形适应性设计理论与方法	87
2.7 海水压力和腐蚀条件下的潜艇光电装备安全性设计	103
2.8 潜艇摇摆的特性及影响	108
参考文献	109
第3章 潜艇潜望镜结构总体技术	112
3.1 概述	112
3.2 潜艇潜望镜及潜望镜装置的组成	113
3.3 光电潜望镜总体设计	116
3.4 潜望镜本体总体结构方案设计	133
3.5 潜望镜测量系统精度分析	139
3.6 潜望镜结构技术设计	158
参考文献	159
第4章 潜艇光电装备光学设计技术	161
4.1 概述	161
4.2 潜艇潜望镜观察光学系统性能参数	163
4.3 潜艇潜望镜观察光学系统典型组件分析	168
4.4 潜艇潜望镜观察光学系统外形尺寸设计与像差设计	182
4.5 潜艇潜望镜光学系统特种技术问题	203
4.6 潜艇光电设备热像光学系统分析与设计	208
4.7 潜艇光电设备电视系统光学设计与分析	218
4.8 光学薄膜及红外光学材料	231
参考文献	242

第5章 潜艇光电装备系统技术	244
5.1 概述	244
5.2 潜艇光电装备伺服控制系统应用传感器技术	246
5.3 潜艇光电装备伺服驱动技术	255
5.4 潜艇光电装备自动控制技术	276
5.5 潜艇光电装备计算机及接口技术	286
5.6 潜艇光电装备图像处理技术	305
5.7 潜艇综合成像系统	314
参考文献	317
第6章 潜艇光电装备测距技术	319
6.1 概述	319
6.2 潜艇潜望镜光学分像测距装置	323
6.3 潜艇光电装备激光测距装置	343
6.4 视频测距装置	360
6.5 雷达测距装置	361
参考文献	363
第7章 潜艇光电装备红外热像技术	364
7.1 概述	364
7.2 热成像技术的理论基础	366
7.3 红外光学系统	377
7.4 红外探测器	385
7.5 热成像系统的工作原理和性能评价	396
7.6 凝视热成像系统在潜望镜与光电桅杆上的应用技术	407
7.7 热像仪在国外潜望镜及光电桅杆上的应用	422
参考文献	434
第8章 潜艇光电装备瞄准线和图像稳定的数理分析及电子稳像技术简介	437
8.1 概述	437
8.2 研究瞄准线和图像稳定问题的数理知识	444
8.3 二轴结构仪器瞄准线稳定原理及角位移稳定方程分析	452
8.4 二轴结构仪器瞄准线稳定时的像倾斜(旋转)分析	473
8.5 惯性稳瞄平台稳定瞄准线的原理及应用	482
8.6 角速度稳定方程及捷联稳定系统原理	492
8.7 三轴图像稳定原理	502
8.8 稳定平台工作原理分析	510
8.9 电子稳像技术知识	518
参考文献	521
第9章 光电桅杆及光电浮标技术	524
9.1 概述	524
9.2 潜艇光电桅杆的发展背景	525
9.3 光电桅杆的使命任务、作用与效能	528
9.4 光电桅杆的组成	532

9.5 光电桅杆的工作原理	538
9.6 国外光电桅杆的技术发展及主要性能指标	546
9.7 潜艇光电浮标技术及潜射无人机简述	554
参考文献	561
第10章 水下光电成像探测技术	563
10.1 概述	563
10.2 激光在海水中的传播特性	566
10.3 虚拟潜望镜技术	571
10.4 同步扫描水下激光成像系统	576
10.5 距离选通水下激光成像技术	587
10.6 条纹管水下三维成像技术	594
10.7 水下微光电视系统在潜艇上的应用	603
10.8 水下光学成像的最新进展	606
参考文献	613
第11章 天文导航定位定向技术	615
11.1 概述	615
11.2 天文导航定位定向原理	619
11.3 天文导航系统测星工作原理	629
11.4 潜艇天文导航系统(装置)各种方案的分析比较	634
11.5 天文导航系统总体技术	656
11.6 天文导航误差分析	675
11.7 大视场多星定位的原理与技术	683
11.8 射电天文定位定向原理与技术	691
11.9 卫星导航知识	696
参考文献	703
附图	705

第1章 绪 论

1.1 潜艇光电装备的概念和类别

潜艇光电装备是指为潜艇或潜水器配套使用的光电设备,可分为两个类别:

(1)装于潜艇或可潜器上,用于探测水上目标的光电设备,主要有潜艇潜望镜、潜艇光电桅杆、光电浮标等;

(2)装于潜艇或可潜器上,用于探测水下目标或通过水介质探测水面及空中目标,保证自身航行安全及完成对空对海探测的光电设备,主要有虚拟潜望镜、水下激光成像及距离探测设备、水下微光电视监视设备等。

本书中所涉及的天文导航装备是指为海军舰船(包括水面舰船和潜艇)配套使用的天文导航定位定向设备,可分为三个类别:

(1)安装于水面舰船的天文导航设备,主要有天文经纬仪(或星体跟踪器)、全天候自主式天文导航系统、天文射电导航设备以及新一代光电导航设备等;

(2)安装于潜艇或可潜器上的天文导航设备,主要有专用的天文导航潜望镜以及多用途潜望镜中的测星定位定向分系统等;

(3)装于潜艇或可潜器上,用于海底地形/图像匹配的光电与水声组合导航设备。

潜艇光电装备和天文导航装备看似两种不同专业的装备,而因潜望镜的功能发展而相互融合。天文导航定位功能是当代光电潜望镜的主要功能之一,天文导航装备与潜艇光电装备二者之间形成了交互的不可分割的联系。由于天文导航技术相对的独立性,本书在最后一章中以阐述潜望镜天文导航系统的技术为主,并适当进行原理上和基础知识方面扩充,相对独立地对天文导航技术加以论述。

海基光电系统是现代军用光电系统的重要分支和组成部分,上述的潜艇光电及天文导航设备是海基光电系统的主要组成部分之一,其功能涵盖了潜艇的战术要求和航海要求两个领域。舰用光电、潜用光电、舰用天文导航是海基光电系统的三大主要装备系列。

潜望镜是潜艇第一位的对海对空侦察传感器,被誉为潜艇的“眼睛”。现代光电潜望镜通常分为三类:即光电攻击(指挥)潜望镜、光电搜索(多用途)潜望镜、天文导航潜望镜。前两类潜望镜,除配有目视观察系统外,还配有昼光电视、微光电视、激光测距、热像观察搜索以及照像侦察等光电探测手段。此外,光电潜望镜还较普遍地加装了ESM电子支援措施天线、电子战天线、GPS天线、通信天线等,从而进一步加强了其侦察警戒、通信功能和卫导定位功能。现代光电潜望镜已发展为多用途的大型光机电一体化信息化设备,可实现目视观察、红外热像与电视探测识别、测天定位、定向、激光测距、卫导定位、雷达警戒、无线电通信,并保留了对目标光学分像测距、测方位以及鱼雷发射瞄准等传统功能。

潜艇光电桅杆,系指从潜望状态的潜艇中能对空中、水面和海面目标进行昼/夜光电搜索和电子监视等用途的、不穿透艇体耐压壳体的多传感器高级成像系统(装备)。它是传统

的潜艇潜望镜在当代高技术条件下进一步发展的产物,是更新换代产品。通常的光电桅杆,主要由处于艇外的光电回转头、升降桅杆装置和置于艇内的多功能显控台三大部分组成。目前各国研制的潜艇光电桅杆,以搜索型光电桅杆为主,另外还有攻击型光电桅杆、红外光电桅杆、雷达光电桅杆和小截面光电桅杆等类型。战术光电桅杆又称为光电搜索桅杆(SMS),是一种可完成多种使命的综合性桅杆,它具有电视与热像搜索警戒、卫导精确定位、雷达侦察警戒测向、电子战、通信、激光测距、目标位置测定等多种功能。由于其搜索的快速性和高度的自动化,其使用性能较穿透型潜艇潜望镜上了一个台阶,其侦察警戒功能得到了突破性的加强。在现代潜艇与反潜战中,在与对潜艇威胁最大的反潜直升机对抗中,潜艇光电桅杆将会发挥其先敌探测的重要作用;在现代高科技的信息战中,潜艇光电桅杆将成为潜艇作战平台信息网络的重要节点。

光电浮标是指潜艇不必上浮到潜望状态就可以使用的对海面以上目标进行探测的光电传感器平台,在国外又被称为遥控电子观察平台。由于不需潜艇上浮到潜望状态即可用它探测警戒,因而潜艇在水下一定深度便能够获取水面以及空中的目标信息,这就成为现代潜艇隐身的一个重要手段。

为战略核潜艇装备的高精度天文导航潜望镜,以及为远洋测量船配备的天文经纬仪(或星体跟踪器),可以完成高精度、自主式地完成系统校正惯导的位置和航向任务,为导弹的水下发射或远洋测量船提供精确的位置和航向,从而提高战略导弹的打击精度以及测量船测试目标的定位精度。它还可作为潜艇发射巡航导弹提供精确的舰位和航向服务。新一代光电导航技术是基于多星矢量定位技术的一种新型天文导航技术。光电导航设备可广泛应用于各类中远程空、海作战平台,包括航母、驱逐舰、导弹护卫舰及战略核潜艇等。天文导航定位定向和新一代光电导航设备以其不怕干扰、全球导航应用范围大,不受地域、时域、空域的限制,设备简单、工作可靠、不受人制约等突出优势,具有战术使用上的极大优越性。

海底地形/图像匹配导航是将水下运载体敏感器(激光测距仪、水下电视摄像机、声呐仪)测的数据和已知海底图像数据进行比较来确定运载体位置的方法,其用途也是解决惯导水下精确校准问题。

潜艇水下成像探测设备是指用于保障潜艇及水下无人潜器水下航行安全、水下对空对海探测的光电设备。现有水下成像装备主要包括虚拟潜望镜、水下微光电视和水下激光成像装备。目前正在大力开发的水下对空对海探测的光电设备是虚拟潜望镜,其原理是通过海水对海面或空中的目标成像,以便对危险目标报警,或为潜艇上浮时的安全服务,为此项目的服务还包括水下电视设备。水下激光成像和水下激光测距设备一是采用光电方法对潜艇周围水中目标如水雷、船体、冰山、水底暗礁等进行探测、定位,以使潜艇能进行有效的避让,安全航行,或选择坐沉海底,保证其机动安全;二是目前正在大力研发用于水下无人潜器对目标的探测的设备;三是用于水雷探测、识别与规避。因而,水下光电安全装备又可比喻为水下光电导航设备。总之,本书所阐述的潜艇光电技术,虽然涉及的具体设备有多种,但都有以下共同特性:

- (1) 都是基于光波段工作,以光电技术为基础的设备;
- (2) 其功能都是基于满足潜艇或可潜器战术要求或航海要求的设备;
- (3) 具有相同或相似的安装平台和使用环境。

1.2 潜艇光电与天文导航装备的发展概况

1.2.1 潜艇潜望镜的发展概况

潜艇潜望镜作为潜艇观察设备的代表,有着悠久的发展历史。潜艇潜望镜是一种大型精密的光学与光电设备,顾名思义,“潜望”一词是指能置身于安全隐蔽的位置,去观察难于直接观察或危险的区域。而潜艇潜望镜则使置身于水下潜艇内的艇员,观察到海面 and 空中的目标。

潜艇潜望镜随着潜艇的发展而发展。随着潜艇雏形的出现,为解决其对水上观察的需要,1854年,法国人玛丽·戴维曾为潜艇设计了一种具有两个反射镜的观察镜,其原理见图1-1,是早期原始潜望镜的代表。

实用光学潜望镜的雏形,则出现于20世纪初。英国的霍华德·格拉布,美国的西蒙·雷克,曾分别在20世纪的头几年,提出了有关潜望镜发展的专利。意大利的拉索和劳伦蒂,德国的蔡司等人,亦在稍晚一些时候,提出了潜艇潜望镜的方案。但是,潜艇潜望镜成为一种有实用价值的设备,只是在潜艇大量建造和需要的推动下才成为可能。随着潜艇鱼雷武器的出现和使用,要求潜望镜为其提供目标运动要素,并进行射击瞄准。这就推动潜望镜从一种简单的光学观察设备,向着多用途的综合光学仪器发展。

第一次世界大战末到第二次大战期间,潜艇潜望镜随着潜艇建造技术的不断发展而逐渐成熟:采用转像光学系统,比早期潜望镜可提供更大的视场;随着光学设计水平的提高,大大改善了潜望镜的像质;由于增透镀膜技术的应用,提高了光的透过率,增大了像的清晰度;为了满足观察对视场大小不同的要求,设计了望远系统的高低倍率转换组件;为了提高测距精度,研制了分像测距器;为了防止潜望镜内部的光学零件生雾发霉,改善了潜望镜的密封性并充以干燥的氮气;随着潜艇密封技术的发展,使潜望镜管可进行 360° 回转以实施方位瞄准;潜望镜的高低俯仰范围超过了一个象限,以便于搜索空中的飞机;不锈钢锻造的密封外镜管,代替了原始的黄铜外镜管等。

图1-2所示为基本潜望镜的原理构造,可作为这种光学潜望镜时期的代表。

在世界潜艇潜望镜的研制历史上,美国的科尔摩根公司、英国的巴尔·斯特劳德公司、德国的蔡司公司是起步最早的公司,为潜艇潜望镜的发展作出了重大贡献。前苏联从1928年开始仿制德国潜望镜,曾是潜艇和潜望镜的生产大国。在该国出版的参考文献[1]中总结了第二次世界大战前各国潜望镜发展的情况以及光机潜望镜的相关技术。在该国出版的参考文献[2]中,则总结了第二次世界大战中各国潜望镜的有关光学设计技术。

潜望镜从出现到今天已经历了三个发展阶段,即早期光学潜望镜发展阶段、光机潜望镜发展阶段、光电潜望镜发展阶段。而潜望镜的发展是与它所承担的任务使命演变密切相关的。在潜望镜发展的头两个阶段,潜艇的作战需求甚至可以说是潜艇水下活动时对潜望镜的依赖,是促使潜望镜当时快速大量发展的主导因素。潜艇发展初期,迫切需要通过实现对面水的观察,以后随着军事用途的提出,鱼雷武器的出现,进一步要求潜望镜解决潜艇鱼雷攻击测敌运动要素、解算和攻击瞄准问题,并且由于水声设备起步较晚,因此,潜艇的潜望深度鱼雷攻击是对舰攻击的主要方式。这一需求推动潜艇潜望镜为鱼雷攻击服务功能的

逐步发展和完善。当时的潜望镜功能中,从目标的距离、己舷角、目标舷角、速度、方位变化率的测量,参数的装定,鱼雷射击提前量的解算,一直到鱼雷射击时的瞄准指挥等,无不面面俱到。潜望镜过去曾充当过潜艇鱼雷射击时的唯一传感器、指挥仪和瞄准器,作为潜艇鱼雷攻击最主要的依赖手段而发挥过显赫的作用。

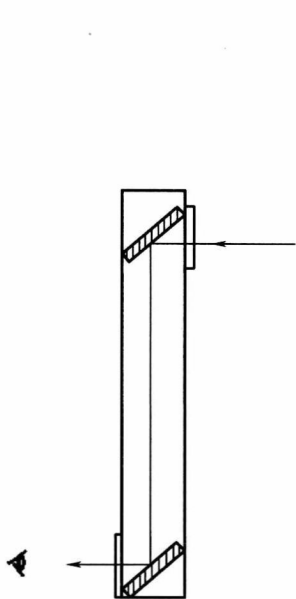


图 1-1 玛丽·戴维设计的简单潜望镜原理图

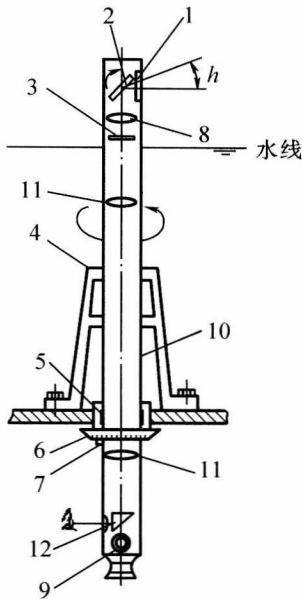


图 1-2 基本潜望镜的构造原理

1—头部观察窗口；2—上反射镜（或反射棱镜），可以进行回转以实现潜望镜的俯仰观察；3—分划板，可以用于对目标的瞄准；4—潜望镜的支撑装置，保证潜望镜在其中的升降和回转；5—密封填料函，保证潜望镜升降与回转时潜艇的密封；6,7—潜望镜方位度盘和指针，用于实现对目标的方位或舷角测量；8—物镜；9—方位推动把手；10—外镜管；11—转像透镜；12—下棱镜。

第二次世界大战后,水声探测设备逐步替代了潜望镜在潜艇鱼雷攻击中的主要功能,到目前已成为潜艇鱼雷攻击中占主要地位的探测传感器。随着潜艇探测手段的多元化要求及现代光电技术的发展,从 20 世纪 70 年代起,潜艇潜望镜向光电潜望镜发展。光电潜望镜有两大特点:一是以光电子技术为先导的各种传感器相继在潜望镜上获得应用,如电视摄像机、像增强器、激光测距仪和红外热像仪等;二是潜望镜桅杆的电子战功能有明显的加强,甚至可以替代潜艇的一根专用的天线桅杆。光电潜望镜是当今大多数拥有潜艇的国家使用的主流设备,已经发展为光机电一体化的大型精密、复杂的信息化装备。表 1-1 为国外与光电桅杆配套使用以及当代重要光电潜望镜性能一览表。

图 1-3(见 705 页)为美国 8B Mod3 光电搜索潜望镜目镜头、上头部外形图,图 1-4(见 705 页)为美国 18 型光电搜索潜望镜目镜头、上头部外形图,图 1-5(见 706 页)为美国 90 型光电潜望镜目镜头、上头部外形图,图 1-6(见 706 页)为俄罗斯 PARUS-98E 光电攻击潜望镜目镜头、上头部外形图,图 1-7(见 707 页)为英国 CK043 光电搜索潜望镜目镜头、上头部外形图,图 1-8 为德国 SERO 400 光电攻击潜望镜目镜头、上头部外形图,图 1-9(见 13 页)为法国 APS-20 系列光电攻击潜望镜目镜头、上头部外形图,图 1-10(见 707 页)为南非 Ibol 光电潜望镜目镜头外形图,图 1-11(见 708 页)为美国 76 型潜望镜最新改进型目镜头、上头部外形图。

表 1-1 国外光电搜索望远镜性能一览表

国别	潜望镜型号	制造厂商	配套情况	外形尺寸		光学性能			摇摆与振动 稳像措施	观察与探测 成像系统	测距装置	观察与探测 成像系统	照相录像与 显控设备	电子战与 通信天线	隐身性能	备注
				镜管直径 / mm	潜望力 / m	倍率	视场	俯仰 范围								
	18 型光电 搜索潜望 镜系统	Kollmorgen	光电桅杆	190	10.97(18B) 12.6(18D) 13.1(18H)	1.5× 6× 12× 24×	32° 8° 4° 2°	-10° ~ +60°	导轨、单轴瞄准线稳定、图像运动补偿	微光电摄像机、高清晰度电视摄像机			图像运动补偿相机、数码相机、潜望镜合成系统	组合 ESM 单脉冲自动侧向系统通信天线		到 2003 年共生产 76 架,装备洛杉矶级和海狼级核潜艇
美国	8B Mod3 光电搜索 潜望镜	Kollmorgen	光电桅杆	190	10.97 14.2(8I 型)	1.5× 6×	32° 8°	-10° ~ +60°	3~5 μm 热像仪	3~5 μm 热像仪				ESM 通信天线 EHF		到 2003 年共生产 64 架,配套潜艇同上
	90 型光电 潜望镜	Kollmorgen	86 型光电桅杆	190		1.5× 6× 12× 18×	32° 8° 4° 2.5°	-10° ~ +74°	双轴陀螺稳定瞄准线 (125 μrad) 导流罩	8~12 μm 热像仪 CCD 电视观察	1.06 μm 激光测距可选入眼安全型	GPS	35 mm 相机、遥控数字或模拟数据总线	ESM 预警,侧向、通信天线	可见光、雷达、热隐身	出口型
俄罗斯	PARUS - 98E 光电攻击潜望镜	电气仪表中央研究所	PARUS - 98E 光电桅杆		8~13	1.5× 12×	45° 6°		瞄准线陀螺稳定系统,克服振动影响导流罩	微光电电视观察	光学分像测距	GLONAS / GPS 天线	视频观察录像控制	ESM		
英国	CK043 光电搜索潜望镜	Pilkington	光电桅杆接口 (选用)	254	14.3	1.5× 3× 6× 12×	24° 12° 6° 3°	-15° ~ +60°	瞄准线稳定	热像仪微光电电视	光学分像测距	潜望镜六分仪 GPS	35 mm 自动相机、遥控	ESM 预警,侧向、通信天线		模块化通用化设计
德国	CK038 光电搜索潜望镜	Pilkington	光电桅杆接口 (选用)	190.42	10.4	1.5× 6×	32° 8°	-10° ~ +60°	瞄准线双轴稳定	微光电摄像机增强器热像仪 (选用) 彩色电视 (选用)	光学分像测距	GPS (选用)	35 mm 自动相机录像机遥控 (选用)	ESM 全向 (选用) 通信 (选用)	雷达吸波材料	模块化通用化设计
德国	SERO 400 光电攻击潜望镜	Carl Zeiss	与 OMS100 光电桅杆配套使用	190.5	11	1.5× 6× 12×	36° 8° 4.2°	-15° ~ +60°	高精度双轴稳定瞄准线数字瞄准线稳定技术	3~5 μm (或 8~12 μm) 热像仪电视 (750×750 像素) 微光电视 (1/10 000 Lux)	人眼安全激光测距仪	GPS (选用)	高分辨率数码相机 (大于 2.5 m 像素)	ESM 预警 (选用)		模块化设计
	PVALRPS - S 光电搜索潜望镜	SAGEM		250	10.435	1.5× 6× 12×	36° 9° 4.5°	-10° ~ +80°	惯性稳定瞄准平台稳定瞄准线 1σ = 20"	热像仪 8~12 μm 288×4 IRCCD 激光测距 (选用)	光学分像测距	高精度六分仪	自动照相机、录像机	ESM 预警	头部涂 RAM	模块化设计
法国	PIV - AIRAPS - 20 系列光电攻击潜望镜	SAGEM	SMS - 30 系列搜索光电桅杆	190.5		1.5× 3× 6× 12×	30° 15° 7.5° 3.75°	-10° ~ +60°	单轴稳定瞄准线 (可选三轴)	微光电摄像机防模糊相机第三代 3~5 μm 热像仪 (选用) 高清晰电视 (选用)	光学分像测距人眼安全激光测距 (选用)	GPS	数字视频和快速录像遥控	ESM 预警	隐身性能	模块化设计
	M92 光电搜索潜望镜	SAGEM	光电雷达桅杆 (OMS)	250		1.5× 6× 12× 24×	36° 9° 4.5°		惯性稳定瞄准平台稳定瞄准线	8~12 μm 热像仪 (面阵)		高精度六分仪 GPS	遥控	ESM 预警	头部涂 RAM	

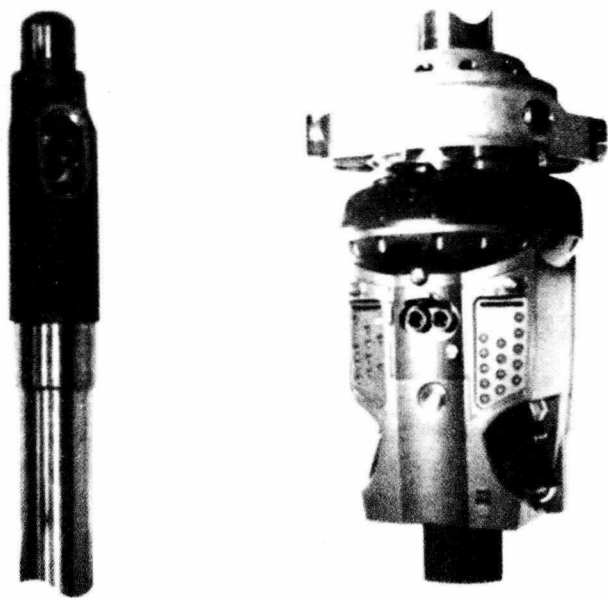


图 1-8 德国 SERO 400 光电攻击潜望镜目镜头、上头部外形图

分析表 1-1 和图 1-3 ~ 图 1-8 及图 1-10, 图 1-12(见 708 页)可以看出, 现代光电潜望镜从 20 世纪 70 年代起经过四十多年的发展, 技术已经成熟, 功能已趋完善, 这体现在如下几点上:

1. 全天候的观测能力

应用红外热成像系统能使潜望镜实现 24 h 的全天候、昼夜观察监视, 因此, 对于潜艇的战术活动和夜间作战性能至关重要。目前, 美、英、法等北约国家的潜艇, 都配备有带红外热成像系统的潜望镜, 甚至连日本、韩国、台湾等海军的潜艇潜望镜也都装备了红外热成像系统。

2. 一镜多功能

光电潜望镜的功能已经突破光学波段的范围, 在其头部还集合了雷达预警测向接收天线、通信天线、卫星导航天线等, 功能扩展到其他波段, 使其真正具有了一镜多功能的优势。例如德国宇航雷达与无线电系统分公司研制的 USK 800 ESM 传感器, 在潜望镜顶端安装的一根增强型的 ESM 传感器天线上, 同时具有了 GPS 传感器天线功能和 VHF/UHF 通信通道的天线功能。

3. 利用计算机实现自动解算、数据自动输出和自动控制

现代光电潜望镜较普遍地采用了微机解算、图像信息的视频化、遥控台控制以及瞄准线的自动稳定控制。

4. 采用防振隐身技术提高使用航速

国外光电潜望镜较普遍的配备了导流罩或动力减振器, 可使潜望镜上头部在水面划出的浪迹长度减少 60%。使用导流罩的潜望镜, 其最高使用航速可达 15 kn, 这无疑增加了潜艇潜望状态的机动性。另外, 目前潜望镜的上镜头部较普遍地进行了减小雷达反射截面的优化设计并涂覆了雷达吸波材料(RAM), 使其隐身性能大大提高。

5. 模块化设计制造

由于光电潜望镜技术的复杂性和制造的难度大,并且不同的潜艇提出的功能和技术要求又千差万别,为了缩短研制周期,降低生产成本,组装维修方便,扩展改进容易,以美国 76 型潜望镜为先导推出了模块化设计制造的技术,这是潜望镜设计制造技术的一次革命,这种技术在德国潜望镜、英国潜望镜和法国潜望镜的发展中也得到了系统的考虑。

光电潜望镜经过几十年的发展,其性能已日趋完善,要进一步提高其性能指标,潜力越来越小。因此,国外的几个主要潜艇大国的潜望镜制造商从 20 世纪 80 年代起已把研制的重点放在了光电桅杆上,至 20 世纪末国外主要潜艇大国已经出现光电潜望镜向光电桅杆变革,二者并存发展的局面。

但从全世界大多数具有潜艇国家的现实情况来看,穿透式光电潜望镜依然是其使用的主流设备,在未来很长的一段时间,依然会发展并保持其重要地位。

1.2.2 从光电潜望镜到光电桅杆的发展

第二次世界大战后,潜艇与反潜战曾成为海上军备竞赛的主要斗争形式。为此,美国和前苏联都各自建造了大量的常规潜艇和核潜艇,而为此配套使用的潜艇潜望镜技术亦得到了快速的发展。据不完全统计,自第二次世界大战后,美国、前苏联、英国、法国、德国等各国研究发展的新型号潜望镜就达到两百多项,生产的潜艇潜望镜总数达上万根之多。各国潜望镜技术在继承发展过去光学潜望镜和光机潜望镜技术的基础上,从 20 世纪 70 年代开始,由于光电子技术、计算机技术、自动控制技术的发展应用,已快速地向着光电潜望镜转变。

光电桅杆的出现完全是潜艇观通技术领域的一个新概念。其最早是由美国的科尔摩根公司提出的。1976 年科尔摩根公司作为一个重要的潜望镜生产制造商,正式提出了最初光电桅杆原理供美国海军评审。到 20 世纪 80 年代,科尔摩根公司正式启动了开发非穿透耐压壳体的光电桅杆计划。此后,其他各国的潜望镜制造商如英国的泰利斯光电子公司、法国的萨捷姆公司、德国的蔡司光电子公司、俄罗斯的罗蒙联合股份有限公司以及日本的尼康公司相继开发了各具特色的潜艇光电桅杆。如今,三十多年过去了,光电桅杆已从概念、原理样机发展为工程型号。尤其是美、英、法、德等国已在新型核动力潜艇或常规潜艇上配装了光电桅杆,开创了光电桅杆应用的新局面。目前光电桅杆一些潜在的优点已经得到广泛认识,如相对于穿透式潜望镜设计而言隐身性更高、对艇体的改装要求更低及适装性和安全性更高等。目前大多数的配置情况是一根穿透式光电潜望镜与一根光电桅杆,也有的情况是两根全部配置光电桅杆,如英国 CM010 光电桅杆,美国 PMP 光电桅杆系统。表 1-1 列出了与光电桅杆配套使用及重要的当代光电潜望镜性能一览表。

要理解从光电潜望镜到光电桅杆的发展演变,应该从作战需求、武器平台信息化改造、穿透式潜望镜技术的局限性和光电技术发展四个方面来进行分析。

1. 航空反潜战的发展与潜艇对空警戒探测需求

随着潜艇威胁的增大和科学技术的进步,航空反潜得到迅速发展。国外各主要海军国家,在护卫舰以上级别的舰艇上,大都装备了反潜直升机;反潜巡逻机的数量也在日益增

加,从而弥补了水面舰艇航速慢,对潜探测距离近的缺陷,大大加强了反潜作战能力。当今反潜直升机与固定翼反潜机已使潜艇的空中威胁日益严重,而这种威胁对潜艇而言,更带有突发性的特点。为了对付这种局面,潜艇除了大力提高隐身性能、机动性能和降低水面暴露率外,大力加强对空探测技术和应付手段便成为潜艇发展的一项急迫需求。

现代潜艇强烈的防空警戒需求,赋予潜艇光电装备以新的历史使命,是推动潜艇光电装备发展的“热点”。光电桅杆和虚拟潜望镜、光电浮标的出现,以及随后出现的潜射无人机等将为承担这种新的历史使命和功能角色的改变作出贡献。

2. 军事信息系统一体化发展的需要

一体化的 C4ISR 系统是实现信息化武器装备系统综合集成的重要前提。从 1989 年开始,美国对其“烟囱”式的军事信息系统进行改革,重点发展一体化军事信息系统。作战平台信息化改造,不仅可以使武器平台具有强防护力、远航程、高机动性和高隐身性,更重要的是具备对战场信息的获取、传递、处理、再生和应用等一种或几种功能的信息能力,其结果是将机械化作战平台改造为信息化平台。美军认为,“网络中心战”将牵引 C4ISR 系统更显著地进入杀伤链,随着新的核心能力出现在战场,在作战能力方面更大的、实质性进步的时机正在出现,C4ISR 系统正在成为战斗力的核心。而潜艇光电桅杆到今天已发展成为潜艇作战平台信息网络的重要节点和倚重设备。

3. 传统穿透型潜望镜构造的局限性

光电潜望镜经过三十多年的发展,已发展成为大型精密的、集光机电一体化的复杂设备;而与此相应的,是由于其在构造上的局限性,它在防空警戒探测方面的缺陷也暴露无疑,在现代航空反潜战与武器平台信息化发展中遇到了强烈的挑战。

(1) 光电潜望镜观察系统是以光学原理为基础的,光学传递图像通道是它的主要构成部分,这种细长的传像桅杆是从艇外一直穿透到艇内,细长的传像桅杆要由多个支点支撑,既要升降,又要解决深潜时的密封问题,使用时又受到很大的流体动力,造成转动力矩大、转动惯量大,方位回转不灵活,无法适应和达到潜艇的防空警戒高速搜索要求。

(2) 主要利用光学系统的直接成像,用人眼直接观察空中目标,不但效率极低,而且延长了镜管外露时间,造成了自我隐蔽性的降低;单人观察不利于信息资源共享,是属于“烟囱”式的信息设备,非常不利于潜艇作战平台综合化、信息集成化的发展。

4. 科学技术的进步提供了发展演变的可能性

光电桅杆是在传统潜望镜的构造形式越来越不能适应现代潜艇技术发展要求的推动下,伴随着光电子领域的新技术、自动控制技术、计算机技术的发展而发展起来的。可以想象,如果没有源于光电子领域的高清晰度电视的发展和可靠性的提高,使其图像的分辨率和可靠性达到与潜望镜光学系统成像并驾齐驱的程度;如果没有红外热成像技术的成熟,人们也不敢想象用这种系统代替传统潜望镜。而恰恰是 20 世纪 70~80 年代这些现代技术的成熟,提供了这种条件。表 1-2 列出了美国 86 型潜望镜与穿透式潜望镜(18 型)作用距离性能比较。表 1-3 列出了美国测试得出的 86 型光电桅杆电子成像与传统潜望镜可靠性比较。

表 1-2 中高清晰度电视的作用距离皆超过目视作用距离,而热像仪在夜间的作用距离

也将大大超过目视距离(表中未列出)。表 1-3 中光电子成像系统总的可靠性已与目视系统可靠性相当。

表 1-2 美国 86 型光电桅杆与 18 型穿透潜望镜作用距离性能比较 单位:km

等级 设备	目标尺寸	探测概率		识别概率(乐观)		识别概率(保守)	
	m	50%	95%	50%	95%	50%	95%
潜望镜目视(典型)	15 × 15	22	18.2	16.8	13.5	15.8	12.2
	7 × 6	17.8	15.1	12.9	9.5	11.7	8.6
高清晰度电视	15 × 15	26.8	23	20.4	15.9	18.6	13.9
	7 × 6	21.5	17	14.3	9.5	12.3	7.8
彩色电视	15 × 15	22.5	18	15.1	10.	13	8
	7 × 6	16.3	11.2	8.8	5.1	7.1	4
热成像	15 × 15	22.3	18.8	16.6	11.4	14.9	8.6
	7 × 6	18.	13.8	10.1	4.9	7.5	3.7

表 1-3 电子成像与传统潜望镜可靠性比较

项目	MTBF/h
传感器组件	2 450
彩色摄像机	13 194
高清晰度黑白电视摄像机	21 991
前视红外摄像机	12 025
人眼安全型激光测距仪	11 433
耐压电缆带 / 穿透装置	200 000
所有的艇外部分	2 420
整个光电子系统	1 681
传统潜望镜	1 654

1.2.3 舰用天文导航设备的发展概况

二百多年来,世界上大大小小的水上、水下的海上舰只,几乎全部都装备着六分仪、天文钟、各种算表和航海天文历。但是,直到二次世界大战结束,舰用天文导航设备的发展是极其缓慢的。第二次世界大战后,海军舰船和武器得到迅速发展,常规动力远洋潜艇数量剧增,核动力弹道导弹潜艇、靶场测量船和海洋测量船相继出现。为了保证航行安全、作战机动,有效地发挥现代武器的作用和提高打击精度,迫切需要高精度、全天候、全球性和高可靠性的导航设备。近代科学技术和工业的发展,提供了海军装备发展的基础。于是,天文导航设备也开始脱出古典设备的框框,和其他装备一起,得到蓬勃发展。

天文导航设备发展的一个方面,是解决潜艇的水下天文定位和定向问题。使用普通六分仪,必须在黎明或黄昏,把潜艇浮出水面进行天体观测,这将给潜艇带来极大的危险。解决问题的方法是潜艇在潜望深度通过潜望镜进行天体观测。20 世纪 50 年代,国外潜艇天文导航设备的发展,曾出现过一研究发展的热潮。苏、美、英、法等国一方面是在常规潜艇的潜望镜上改进加装六分仪装置,使其具备水下潜望状态的测天定位功能;另一方面是适应弹道导弹潜艇的出现,为解决潜艇水下精确天文定位和定向问题,美国研制了 11 型天

文导航望远镜系统,前苏联则成功地制造了“里拉-1”天文导航系统。

舰用天文导航设备发展的另一个方面,是随着靶场测量船和海洋测量船的出现,全自动的星体跟踪器研制和装舰。测量船要完成对空间飞行体的测量,必须在船上装备精密测量定位设备。而要想准确地捕获和实时连续地跟踪飞行目标,并精确地测得轨道参数,则必须要知道测量时刻本船的精确舰位和姿态及航向航速等参数,而这些参数由船上的综合导航系统提供。天文导航是综合导航系统的主要设备之一,天导的作用是对惯导进行船位和航向校正,尤其航向校正更为重要。1964年美国法兰德公司和斯佩里陀螺仪器公司共同研制了FAST星体跟踪器,此后又研制了NAST星体跟踪器。前苏联也在其靶场测量船上安装有光学自动定向仪。

直到今天,舰用天文导航系统已从传统的光机式系统向高精度、自主、小型化、全自动光电信息获取与处理技术高度集成的新型光电系统方向发展,逐步克服以往系统体积大、设备复杂、导航精度低等缺点。例如,俄罗斯现役“德尔塔”级弹道导弹核潜艇和“台风”级弹道导弹核潜艇均装有天文/惯导组合导航系统,采用天文定位定向方法对发射基准进行初始对准,前者可使潜艇定位精度达到0.25 n mile(1 n mile = 1 852 m),使弹道导弹的命中精度达到370 m,后者可使导弹命中精度达到500 m。美国现役的“俄亥俄”级弹道导弹核潜艇上装备的天文/惯导组合导航系统,采用同样方法,可使弹道导弹的命中精度达到90 m。法国弹道导弹核潜艇“凯旋”级和“不屈”级装有M92光电搜索望远镜,其高精度的天文导航分系统,采用天文定位定向方法对发射基准进行初始校准,可使M45型潜射弹道导弹的命中精度达到400 m。

大视场多星定位技术是20世纪90年代发展起来的一种新型原理的测天定位技术,在国内又被称为光电导航技术。与传统的以高度差为基础的天文导航设备不同,其特点是,一次测多星、没有运动机构、全自动、系统光机构造简单,其构造原理更像一台天顶摄像机。其工作过程由大视场成像、多星目标同步提取、星图识别、导航解算等几步组成。其最大优点是可不借助任何先验信息而自主确定运载体相对惯性空间的姿态。目前在一些国家已有多钟产品在航天、航空和航海领域得到应用。这种测天定位原理是随着大面阵CCD成像技术和计算机技术的发展而发展的。其定位精度预期可以较小视场、单通道、以高度差为基础的天文定位设备提高一个数量级,达到几十米的水平。其发展和使用可以与GPS定位系统并驾齐驱,而较之GPS定位要自主、不受干扰、可靠性好。

1.3 潜艇光电与天文导航技术的特点、作用与发展趋势

1.3.1 光电子技术的特点及在高技术战争中的作用^[7]

1. 光电子技术的特点

潜艇光电与天文导航技术的基础是光电子技术,而光电子技术是光波段的电子技术,其最根本的特点是波长短、频率高。